

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18069003

研究課題名（和文） パルス励起堆積法による窒化インジウム系半導体の低温成長

研究課題名（英文） Low temperature growth of InN films by pulsed excitation deposition

研究代表者 藤岡 洋 (FUJIOKA HIROSHI)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号：50282570

研究分野：(1) 工学 細目番号：5102 (2) 化学 細目番号：4603

科研費の分科・細目：(1) 電気電子工学・電子・電気材料工学 (2) 基礎化学・無機化学

キーワード： 族窒化物、パルス励起堆積法、低温成長

1. 研究計画の概要

本提案の目的は、パルス励起堆積法と呼ばれる新しい In 系窒化物半導体の低温成長技術を開発し、極めて高品質な InN やその混晶 (InAlN、InGaN) を成長し、pn 制御や急峻なヘテロ接合を実現することである。InN 系の材料のエピタキシャル成長には(1)分解温度が低く良質な結晶を得るための十分な原子の表面マイグレーションが行われない、(2)化学的な反応性が高く使用できる基板が格子不整の大きなサファイア等に限られる、(3)InAlN、InGaN 等の混晶が熱力学的に不安定で相分離を起こし良質な薄膜が得られない、といった問題点があった。通常の InN 系材料の結晶成長温度は 400 以上であるが、最近我々は、エキシマレーザーを用いてパルスの高いエネルギーを持った 族原子を基板に供給することによって原子の基板表面でのマイグレーションを促進し、結晶成長の温度を室温にまで低減できることを見出した。また、この低温成長技術においては、相分離反応に必要な熱が供給されず、InAlN、InGaN といった混晶を比較的容易に成長できる。本提案では、この室温成長を再現性よく実現する結晶成長装置とそのプロセス技術を開発し、p 型薄膜や他の窒化物との高品質ヘテロ接合を作製する。具体的には、まず、パルス電子線源を用いた結晶成長装置を開発し、パルスレーザーを用いた結晶成長技術と特徴を比較する。これらの手法の内、優れた方を用いて低温での高品質 InN 系薄膜の成長条件を探索し、Mg と Si のドーピングによって pn 制御を実現する。さらに、低温成長技術を用いて急峻な InN 系テロ接合作製技術を開発し、デバイス作製を担当するグループ

にサンプルを供給することによって新機能素子の作製を実現する。

2. 研究の進捗状況

平成 20 年度までに当初の計画どおり、パルス電子線堆積 (PED) 法の装置を開発し、PED 法と PLD 法を良く比較した。その結果、どちらの手法を用いた場合でも、ほぼ同様な品質を持つ窒化物薄膜が実現できるとの結論に達した。また、PLD や PED に比べ量産性の高い成長手法として PSD (パルススパッタ堆積法) についても検討を加え、PSD 法を用いた GaN 薄膜および AlN 薄膜の室温エピタキシャル成長が可能であることを見出した。

低温成長に於いては、格子定数が InN 系薄膜と整合した基板の選定が重要となるが、MnZn フェライト基板や安定化ジルコニア YSZ 基板、ZnO 基板などを比較してどの基板を用いれば最も良い結晶が得られるかを検討した。その結果、InN 薄膜および Ga の少ない InGaN 薄膜の成長には YSZ が、また、Ga 組成の高い InGaN 薄膜の成長には ZnO 基板が適しているとの結論に達した。これらの基板に加え EuN 等の格子整合バッファ層も利用することによって更なる結晶性の改善が可能であることも明らかになった。

平成 20 年度までに開発した低温成長技術を用いて InN をベースとするヘテロ構造の作製を行った。AlN/InN や GaN/InN などのヘテロ構造を作製したところ、そのヘテロ界面が原子レベルで急

峻であることを明らかにした。さらにこの構造の硬 X 線光電子スペクトルを Spring-8 で取得し、バンドラインナップなどの電子状態を解析することに成功した。また、この低温成長技術により InGa_n や InAlN の相分離が抑制できることを確認した。さらに、パルススパッタ堆積法を用いて膜中へ Mg と Si のドーピングすることによって p n 制御を実現した。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

当初計画した実験計画のほぼ全てを着実に実行し、デバイス作製に不可欠なヘテロ構造作製や不純物添加による伝導性制御を予定よりも早く達成した。

4. 今後の研究の推進方策

平成 21 年度以降には、これまで開発してきた技術をデバイス応用していくための第一歩として、単膜ではなく異種の窒化物系半導体を低温で接合させた、量子閉じ込め構造など、現実の素子に近い構造の作製を行っていく。具体的には InN、InGa_n、InAlN などの多層構造を実現し、その光学特性や電気的特性を評価していく。また、これまで他の成長手法では実現できなかった高濃度混晶に関しては、我々が開発したパルス励起成長法や ZnO 基板などを用いて極限的に品質の高い結晶の作製を試みる。さらに、素子を実現するために必要となる HfN などの界面バッファ層の開発も行う。この他、領域内のデバイス作製のグループにテスト用サンプルを供給し、低温成長技術の特徴である、界面急峻性や相分離抑制効果を生かした素子実現を試みる。また、量子効果や歪の効果を取り入れたデバイスシミュレータを用いて素子のシミュレーションを行う。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 30 件)

- K. Sato, J. Ohta, S. Inoue, A. Kobayashi, and H. Fujioka, “Room-Temperature Epitaxial Growth of High Quality AlN on SiC by Pulsed Sputtering Deposition”, Appl. Phys. Exp. **2** (2009) 011003.
- A. Kobayashi, S. Kawano, Y. Kawaguchi, J. Ohta, and H. Fujioka, “Room temperature epitaxial growth of m-plane GaN on lattice-matched ZnO substrates”, Appl. Phys. Lett. **90** (2007) 041908.
- K. Mitamura, J. Ohta, H. Fujioka, and M.

Oshima, “Growth of InN films on spinel substrates by pulsed laser deposition” physica status solidi (rapid research letters) **5** (2007) 211.

[学会発表](計 65 件)

- H. Fujioka, S. Inoue, T. Nakano, and J. Ohta, “Room Temperature Epitaxial Growth of Group III Nitrides”, 15th International conference on crystal growth, August 2007, Salt lake city, USA.
- A. Kobayashi, R. Ohba, J. Ohta, H. Fujioka, and M. Oshima, “Growth of cubic InN with high phase purity by pulsed laser deposition”, 2nd International symposium on growth of nitrides, July 2008, Shuzenji, Japan.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]